

Avaliação de lama de cal e cinza de biomassa florestal como insumo florestal

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 270

Avaliação de lama de cal e cinza de biomassa florestal como insumo florestal

Shizuo Maeda
Itamar Antonio Bognola
Helton Damin da Silva

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2014

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.embrapa.br/florestas

cnpf.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Alvaro Figueredo dos Santos, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Elenice Fritzsons, Guilherme Schnell e Schuhli, Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão Froufe, Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello Penteado

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Rafaele Crisostomo Pereira

1ª edição

Versão eletrônica (2014)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Florestas**

Maeda, Shizuo.

Avaliação de lama de cal e cinza de biomassa florestal como insumo florestal [recurso eletrônico] / Shizuo Maeda, Itamar Antonio Bognola, Helton Damin da Silva. - Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2014.

(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 270)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

Título da página da web (acesso em 29 dez. 2014).

1. Fertilidade do solo. 2. Resíduo industrial. 3. Biomassa florestal. 4. Pinus taeda. 5. Eucalipto I. Bognola, Itamar Antonio. II. Silva, Helton Damin da. III. Título. IV. Série.

CDD 631.8 (21. ed.)

© Embrapa 2014

Autores

Shizuo Maeda

Engenheiro-agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
shizuo.maeda@embrapa.br

Itamar Antonio Bognola

Engenheiro-agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
itamar.bognola@embrapa.br

Helton Damin da Silva (*in memoriam*)

Engenheiro Florestal, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas

Apresentação

A disposição de resíduos de forma segura é um dos grandes desafios da atividade industrial. O tema é relevante pelos problemas decorrentes de sua disposição inadequada, com consequente prejuízo pela contaminação ambiental.

A aplicação de resíduos gerados pelas indústrias do segmento celulósico como insumo em áreas de plantios florestais é uma forma atraente de destinação. Pesquisas têm sido demandadas no sentido de viabilizar o aproveitamento desses resíduos como insumo agroflorestal. Essa forma de disposição resolve o problema ambiental de destinação ao mesmo tempo em que contribui para a manutenção da capacidade produtiva da terra pela reposição dos nutrientes exportados pela colheita florestal.

Desde 1995, a Embrapa Florestas, em parceria com as empresas do setor de celulose, vem estudando o uso de resíduos gerados pelo setor como insumo para aplicação em plantios florestais.

Relatam-se nessa publicação resultados de pesquisas sobre o tema realizadas em parceria com Celulose Irani SA.

Sergio Gaiad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

1. Introdução	9
2. Ensaios conduzidos.....	10
2.1. Avaliação do efeito de doses de cinzas de madeira em <i>Pinus taeda</i>	10
Avaliações de características químicas do solo em 2007.....	11
Avaliação química do solo realizada em 2008	14
Avaliação de características químicas do solo realizadas em 2011 e 2012.....	17
Avaliação de características químicas do solo realizadas em 2013.....	17
Considerações sobre as características químicas relacionadas à fertilidade do solo (2007 a 2013).....	23
Teores foliares de nutrientes.....	25
Características biométricas.....	27
Considerações quanto ao efeito da aplicação de doses de cinzas em características biométricas das árvores de <i>Pinus taeda</i> realizadas no período de 2007 a 2013.....	28
2.2. Efeito da aplicação de cinzas de madeira e lama de cal em eucalipto	28
3. Resultados	31
Características biométricas.....	31
Características químicas do solo aos 6, 18 e 35 meses após aplicação dos tratamentos.	31
Referências	40

Avaliação de lama de cal e cinza de biomassa florestal como insumo florestal

Shizuo Maeda

Itamar Antonio Bognola

Helton Damin da Silva

1. Introdução

A consciência ambiental despertada nos últimos anos levou à necessidade de se dar um destino seguro aos resíduos de processos industriais. Nesse contexto, os resíduos gerados no processamento da madeira, tais como as cinzas, os dregs, os grits e a lama de cal têm sido estudados para a sua disposição segura.

O plantio de espécies florestais para exploração comercial da madeira ocorre predominantemente em áreas com solos de baixa aptidão agrícola, tanto pelas condições topográficas inadequadas para o cultivo mecanizado quanto pela baixa fertilidade do solo. Com isso, e associado à intensificação das rotações, a produtividade florestal pode ser reduzida, caso medidas de manejo da fertilidade do solo não sejam aplicadas.

O uso de cinzas de biomassa florestal e de lama de cal vem ganhando importância devido às suas características físicas e químicas, sendo ambas fontes de nutrientes para as árvores, o que possibilita a melhoria das propriedades físicas e químicas do solo. Além disso, a crescente demanda mundial por fertilizantes

vem provocando a elevação dos custos de aquisição e aplicação de fertilizantes minerais, o que leva os silvicultores a procurar meios alternativos para reduzir essas despesas.

Nesse documento são apresentados os resultados das atividades de dois convênios de cooperação técnica entre a Embrapa Florestas e a Celulose Irani S.A.

2. Ensaaios conduzidos

2.1. Avaliação do efeito de doses de cinzas de madeira em *Pinus taeda*

Objetivo: avaliar o efeito de cinzas de madeira nas características químicas do solo e sobre o desenvolvimento de *P. taeda*, em condições de campo.

Metodologia: o ensaio foi instalado em área de plantio comercial, com 2 anos de implantação, em Vargem Bonita, SC, em julho de 2006.

Os tratamentos constituídos de doses de cinzas de madeira, em base seca, foram equivalentes a 0, 10, 20, 40 e 80 Mg ha⁻¹. As parcelas experimentais consistiram em 5 fileiras com 5 árvores espaçadas em 2,5 m x 2,0 m, sendo a área útil constituída pelas 9 árvores centrais. As doses de cinzas e lama de cal foram aplicadas uniformemente a lanço nas parcelas e sem incorporação.

A avaliação do efeito dos tratamentos foi feita com base na análise de solo, para fins de fertilidade, em amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm em 2007, enquanto que em 2008, 2011 e 2012 as amostras de solo foram coletadas nas camadas 0 a 10; 10 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm. Em 2013, as amostras foram coletadas nas 3 primeiras camadas coletadas em 2012. Todas foram analisadas conforme Silva (1999). A avaliação nutricional foi feita com base na análise química de amostras de

acículas recém-maduras (coletadas no verticilo inferior do terço superior da copa em 2008) e na avaliação da altura e diâmetro a 1,30 m acima do solo (DAP) das árvores, realizadas em 2006, 2007, 2008, 2011 e 2013.

A Tabela 1 ilustra a estimativa das quantidades de nutrientes aportados pela aplicação de diferentes doses de cinzas nos tratamentos estudados.

Tabela 1. Estimativa da quantidade de nutrientes aplicadas nas diferentes doses de cinzas.

Elementos	Teor do elemento g 100g ⁻¹	Dose aplicada (Mg ha ⁻¹)			
		10	20	40	80
		Quantidade estimada (kg ha ⁻¹)			
P	0,46	46	92	184	368
K	0,2	20	40	80	160
Ca	2,04	204	408	816	1632
Mg	0,6	60	120	240	480
Cu	0,0065	0,65	1,3	2,6	5,2
Fe	1,88	188	376	752	1504
Mn	0,14	14	28	56	112
Zn	0,012	1,2	2,4	4,8	9,6

Avaliações de características químicas do solo em 2007

Por se tratar de um resíduo alcalino, a aplicação de cinzas promoveu elevação do pH, mostrando correlação positiva com a dose, até 20 Mg ha⁻¹. Nas doses superiores, o incremento no pH foi estatisticamente igual ao alcançado na dose de 20 Mg ha⁻¹. A presença de resíduos da cinzas aplicados na superfície do solo nas maiores doses pode explicar a igualdade nos valores de pH, comparados à aplicação de 20 Mg ha⁻¹, tendo em vista que parte do material aplicado nas doses superiores ainda não teriam reagido ou mesmo devido ao efeito tampão do solo. Os teores de Ca, Mg, K e Na no solo aumentaram com a aplicação das

doses de cinzas, o que resultou em aumento da soma de bases (S) e da capacidade de troca de cátions efetiva (t). Observou-se, também, a elevação dos teores de P, indicando que as cinzas podem ser uma importante fonte desse nutriente. Quanto ao teor de Al e à acidez potencial houve redução e, a partir da dose 20 Mg ha⁻¹, o Al foi neutralizado (Tabela 2).

Os valores do pH atingidos nas maiores doses mostram que cuidados devem ser tomados com a aplicação de doses elevadas de cinzas, uma vez que podem resultar em desequilíbrios nutricionais como a redução da disponibilidade de P e micronutrientes como o Zn, Fe e Mn, efeito esse amplamente relatado na literatura.

Com relação ao Na, considerando sua saturação na capacidade de troca de cátions a pH 7,0, observou-se alteração apenas na maior dose, sem se caracterizar como problema, tanto pelo teor relativamente baixo, quanto pela sua solubilidade no solo, o que resultaria em sua rápida saída do sistema. Conforme FAO (1974), citados por Santos et al. (2006), os maiores valores observados para a saturação de sódio, neste estudo, não atingem o valor mínimo de saturação de sódio para qualificar a camada amostrada como de caráter solódico (6%).

Tabela 2. Resultados analíticos de amostras de solo coletadas na camada de 0 a 20 cm, no experimento de doses de cinzas de madeira conduzido em campo, no distrito Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC. Experimento instalado em 2006 em área com *Pinus taeda* com 2 anos de idade. Resultados de 2007.

Dose Mg ha ⁻¹	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC ¹	t ²	Na	P ³ mg dm ⁻³	V ⁴	S ⁵ %	Na ⁶
0	4,0 b	0,17 b	1,15 c	0,62 b	0,97 a	7,30 a	9,36	3,03 c	0,04 c	3,82 b	21,2 b	2,06 c	0,45 b
10	4,2 b	0,22 ab	1,83 bc	1,42 ab	0,50 b	6,19 a	9,74	4,04 bc	0,08 bc	5,27 ab	36,5 b	3,54 bc	0,80 b
20	6,1 a	0,74 ab	5,66 ab	2,07 ab	0,00 c	1,52 b	10,2	8,68 abc	0,21 ab	19,12 a	83,2 a	8,68 ab	2,02 b
40	5,9 a	0,91a	6,15 a	2,97 a	0,00 c	1,76 b	12,08	10,31 a	0,27 a	18,32 ab	83,4 a	10,31 a	2,22 b
80	5,9 a	0,86 ab	5,98 ab	2,15 ab	0,00 c	1,86 b	11,21	9,35 ab	0,35 a	17,60 ab	81,7 a	9,35 ab	3,07 a
P	0	0,01	0	0,02	0	0	0,52	0	0	0,01	0	0	0
CV (%)	5,96	53,1	45	45,9	49,5	18,9	22,9	37,8	36,3	51,5	14,8	40,7	41

¹Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; ² capacidade de troca de cátions efetiva; ³ Mehlich⁻¹; ⁴ saturação por bases; ⁵ soma de bases; ⁶ saturação de sódio. CV = coeficiente de variação. Médias seguidas por mesma letra nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Avaliação química do solo realizada em 2008

Na Tabela 3 são apresentadas as características químicas avaliadas nas quatro camadas de solo amostradas. O pH foi alterado em todos os tratamentos, sendo os maiores valores observados nas maiores doses. O teor de Al diminuiu apenas na camada superficial, com o aumento da dose de cinzas aplicada, o que também foi observado com a acidez potencial. Os efeitos observados sobre a acidez do solo e sobre a neutralização do Al devem-se ao poder neutralizante da acidez das cinzas (20%) utilizadas no estudo. O teor de K foi significativamente influenciado nas duas camadas superiores, observando-se aumento no seu teor com a dose aplicada. A saturação por bases foi significativamente alterada pela aplicação das cinzas na camada superficial, com os maiores valores observados nessa camada.

Tabela 3. Resultados analíticos¹ de amostras de solo coletadas no experimento de doses de cinzas de madeira conduzido em campo, no distrito Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC. Experimento instalado em 2006 em área com *Pinus taeda* com 2 anos de idade. Resultados de 2008.

Dose (Mg ha ⁻¹)	Canada (cm)	pH CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³ -----										V -- % --
			K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	CO	P			
0	0 - 10	3,9 b	0,14 c	1,23	1,66	4,46 a	15,51 a	18,55 a	26,7	1,94	16,5 b	16,5 b	
10	0 - 10	4,0 ab	0,17 c	2,32	1,56	3,61 ab	13,38 ab	17,42 ab	30,9	2,13	23,2 ab	23,2 ab	
20	0 - 10	4,2 ab	0,24 bc	4,15	1,55	2,33 abc	11,99 ab	17,93 ab	30,4	3,30	33,1 ab	33,1 ab	
40	0 - 10	4,5 a	0,51 ab	5,41	1,86	1,14 c	9,17 b	16,94 b	24,2	2,44	45,8 a	45,8 a	
80	0 - 10	4,5 a	0,67 a	4,83	1,63	1,73 bc	9,58 b	16,70 b	26,7	3,09	42,5 a	42,5 a	
P	-	0,02	0,00	0,01	0,65	0,00	0,00	0,006	0,35	0,07	0,01	0,01	
CV (%)	-	5,9	40,21	42,0	18,9	39,6	16,5	3,4	18,2	27,3	32,1	32,1	
0	10 - 20	3,9 b	0,10 b	0,89	1,30	4,98	16,33	18,62	27,5 a	1,29	12,1	12,1	
10	10 - 20	3,9 ab	0,14 b	0,87	1,26	4,68	14,70	16,97	23,2 ab	1,63	13,5	13,5	
20	10 - 20	3,9 ab	0,17 b	1,44	1,20	4,39	15,18	17,99	24,4 ab	1,83	15,7	15,7	
40	10 - 20	4,1 a	0,28 ab	1,30	1,43	4,18	14,89	17,89	20,0 b	1,71	16,8	16,8	
80	10 - 20	4,1 a	0,57 a	0,89	1,30	3,75	13,66	16,86	20,0 b	1,53	19,2	19,2	
P	-	0,01	0,01	0,22	0,74	0,16	0,10	0,10	0,02	0,72	0,20	0,20	
CV (%)	-	2,0	60,1	35,9	18,5	15,3	8,2	5,3	13,9	31,1	27,3	27,3	

¹ Médias seguidas por mesma letra nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV = coeficiente de variação.

Tabela 3. Continuação.

Dose (Mg ha ⁻¹)	Camada (cm)	pH CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ ----- g kg ⁻¹ mg dm ⁻³ --- % ---								
			K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	CO	P	V
0	20 - 40	3,9 bc	0,06	0,81	1,13	4,42	16,04	18,04	22,9 a	0,64	11,0
10	20 - 40	3,9 abc	0,07	0,62	0,83	4,61	16,06	17,59	19,3 ab	0,98	8,7
20	20 - 40	3,9 c	0,09	0,79	0,99	4,65	16,04	17,91	19,4 ab	1,15	10,4
40	20 - 40	4,0 ab	0,08	0,64	0,73	4,56	16,36	17,80	15,0 b	0,86	8,1
80	20 - 40	4,1 a	0,15	1,07	1,06	4,23	14,43	16,71	17,0 ab	1,22	13,9
P	-	0,00	0,17	0,46	0,54	0,87	0,09	0,22	0,03	0,22	0,30
CV (%)	-	1,7	52,8	45,5	39,4	11,6	6,3	4,6	15,8	37,8	37,3
0	40 - 60	3,9 c	0,05	0,84 ab	0,87	4,20	16,04	17,80	18,8	0,28	9,8
10	40 - 60	4,0 c	0,05	0,62 b	0,88	4,68	15,79	17,35	16,0	0,73	9,0
20	40 - 60	4,0 bc	0,06	0,73 b	0,71	4,61	15,18	16,69	13,5	0,72	9,0
40	40 - 60	4,1 ab	0,06	0,78 b	0,87	4,56	15,94	17,65	12,3	0,58	9,7
80	40 - 60	4,1 a	0,08	1,32 a	0,71	4,30	14,10	16,20	15,1	0,86	13,0
P	-	0,00	0,12	0,02	0,95	0,69	0,10	0,17	0,13	0,16	0,46
CV (%)	-	1,4	32,3	28,6	51,1	11,9	6,2	5,2	17,8	53,0	35,2

¹ Médias seguidas por mesma letra nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV = coeficiente de variação.

Avaliação de características químicas do solo realizadas em 2011 e 2012

Conforme pode ser observado nas Tabelas 4 e 5, a aplicação de doses de cinzas de madeira continua manifestando efeitos em algumas características avaliadas, embora com menor intensidade, como é o caso do teor de P, o que indica efeito residual das doses aplicadas.

No caso do K e do Ca, foram observados efeitos significativos das doses de cinzas em camadas mais profundas do solo, resultante da lixiviação dos mesmos no perfil do solo.

Avaliação de características químicas do solo realizadas em 2013

Conforme pode ser observado na Tabela 6, não houve efeito estatisticamente significativo sobre as variáveis analisadas nas amostras de solo coletadas em 2013. A falta de resposta provavelmente se deve ao elevado coeficiente de variação observado em algumas variáveis, principalmente para K e Ca nas camadas superficiais.

Tabela 4. Resultados analíticos de amostras de solo coletadas no experimento de doses de cinzas de madeira conduzido em campo, no distrito Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC. Experimento instalado em 2006 em área com *Pinus taeda* com 2 anos de idade. Resultados de 2011.

Dose (Mg.ha ⁻¹)	Camada (cm)	pH		K	Ca	Mg	Al	CO	P	V	
		CaCl ₂	CaCl ₂							mg dm ⁻³	-- % --
0	0 - 10	3,96 b		0,07 d	0,62 c	0,00 c	3,40 a	24,30	1,13	4,24 d	
10	0 - 10	4,12 b		0,11 cd	3,04 c	0,16 bc	2,12 ab	24,66	1,53	20,03 c	
20	0 - 10	4,47 b		0,15 bc	5,63 b	0,35 ab	0,65 bc	23,71	1,05	38,82 b	
40	0 - 10	4,45 b		0,22 b	8,75 a	0,48 a	0,29 c	24,38	1,97	57,71 a	
80	0 - 10	5,53 a		0,33 a	10,25 a	0,54 a	0,25 c	22,63	1,61	67,83 a	
P	-	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,010	
CV (%)	-	7,55		17,89	19,01	35,57	49,53	16,64	0,38	17,58	
0	10 - 20	3,91 b		0,06 b	0,48 d	0,00 c	3,17 a	23,24	0,75	3,15 c	
10	10 - 20	4,00 ab		0,07 b	0,98 cd	0,02 c	2,87 a	22,70	0,88	6,34 bc	
20	10 - 20	4,09 ab		0,11 b	2,20 bc	0,19 bc	2,38 ab	19,84	1,06	14,73 bc	
40	10 - 20	3,90 b		0,19 b	2,60 b	0,38 ab	2,35 ab	23,04	0,99	17,44 b	
80	10 - 20	4,24 a		0,45 a	4,48 a	0,65 a	0,90 b	21,73	1,01	32,88 a	
P	-	0,03		0,00	0,00	0,00	0,01	ns	ns	0,00	
CV (%)	-	3,58		37,01	28,89	50,45	30,06	13,01	44,72	34,50	

Médias seguidas por mesma letra nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV = coeficiente de variação.

Tabela 4. Continuação.

Dose (Mg.ha ⁻¹)	Camada (cm)	pH CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----					CO	P	V
			K	Ca	Mg	Al				
0	20 - 40	3,93 ab	0,04 c	0,43 b	0,00 b	2,82	19,23	0,70	2,87 b	
10	20 - 40	3,97 a	0,05 c	0,58 b	0,00 b	2,74	18,21	0,68	3,81 b	
20	20 - 40	3,97 a	0,09 bc	0,95 ab	0,04 ab	3,16	16,37	0,67	6,02 ab	
40	20 - 40	3,83 b	0,17 b	1,03 ab	0,00 b	3,53	17,93	0,61	6,24 ab	
80	20 - 40	3,87 ab	0,32 a	1,42 a	0,14 a	2,87	17,47	0,80	9,78 a	
P	-	0,01	0,00	0,00	0,01	0,13	ns	ns	0,00	
CV (%)	-	1,39	28,61	34,91	149,00	14,45	15,75	58,98	37,27	
0	40 - 60	3,95	0,04 b	0,34 b	0,00	2,74	15,94	0,45	2,32 b	
10	40 - 60	4,00	0,04 b	0,44 ab	0,00	2,77	14,65	0,45	2,95 ab	
20	40 - 60	3,96	0,06 b	0,55 ab	0,00	2,89	14,62	0,37	3,47 ab	
40	40 - 60	4,05	0,10 ab	0,86 ab	0,00	3,44	17,91	0,33	5,15 ab	
80	40 - 60	3,89	0,16 a	1,19 a	0,03	2,84	15,98	1,01	7,60 a	
P	-	ns	0,00	0,02	ns	ns	0,18	0,25	0,04	
CV (%)	-	5,43	50,30	49,83	444,00	18,37	12,40	85,89	52,59	

Médias seguidas por mesma letra nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV = coeficiente de variação.

Tabela 5. Resultados analíticos de amostras de solo coletadas no experimento de doses de cinzas de madeira conduzido em campo, no distrito Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC. Experimento instalado em 2006 em área com *Pinus taeda* com 2 anos de idade. Resultados de 2012.

Dose (Mg ha ⁻¹)	Canada (cm)	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Al	CO	P	V		Ca/Mg
									mg dm ⁻³	%	
0	0 - 10	3,85 b	0,09 b	0,60 b	0,25 c	5,30 a	15,75	2,35	5,31 c	2,33	
10	0 - 10	4,40 b	0,12 b	5,80 b	0,63 b	2,20 b	17,87	2,47	37,27 b	9,32	
20	0 - 10	4,83 b	0,16 b	9,37 a	0,83 a	0,83 b	15,75	4,13	59,18 a	11,79	
40	0 - 10	5,70 a	0,28 a	13,20 a	0,90 a	0,13 b	17,20	4,53	77,43 a	15,28	
80	0 - 10	6,27 a	0,32 a	15,33 a	0,90 a	0,00 b	18,23	5,43	83,69 a	17,02	
P	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ns	ns	0,00	0,00	
CV (%)	-	10,13	29,44	31,48	18,06	47,94	15,24	53,44	26,37	30,98	
0	10 - 20	3,93 b	0,08 b	0,83 c	0,23 c	4,90 a	15,93	0,83	6,45 c	3,08 b	
10	10 - 20	3,97 b	0,08 b	1,77 c	0,30 c	4,46 a	15,23	1,30	12,13 c	5,33 b	
20	10 - 20	4,17 b	0,12 b	3,77 c	0,47 c	3,53 a	14,63	0,93	24,80 c	7,69 a	
40	10 - 20	4,37 b	0,21 b	5,23 b	0,73 b	1,93 b	16,57	1,17	36,97 b	7,19 a	
80	10 - 20	4,87 a	0,41 a	8,73 a	1,13 a	0,40 b	13,70	1,87	60,49 a	7,63 a	
P	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ns	ns	0,00	0,20	
CV (%)	-	4,53	37,82	45,76	30,79	30,71	13,51	41,46	36,59	23,97	

Médias seguidas por mesma letras nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV = coeficiente de variação.

Tabela 5. Continuação.

Dose (Mg ha ⁻¹)	Camada (cm)	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Al	CO	P	V	Ca/Mg
0	20 - 40	3,90	0,06 b	0,60	0,17	4,87	15,90	0,67	4,86 b	3,56
10	20 - 40	3,97	0,06 b	0,70	0,17	5,00	12,07	0,50	5,34 b	4,00
20	20 - 40	4,00	0,10 b	1,33	0,23	4,83	12,40	0,80	9,74 b	6,50
40	20 - 40	4,00	0,18 b	2,80	0,43	4,38	13,37	1,00	17,51 a	6,40
80	20 - 40	4,17	0,39 a	3,37	0,53	3,07	17,23	1,13	26,00 a	6,43
P	-	0,01	0,00	0,07	ns	0,05	0,07	ns	0,03	0,08
CV (%)	-	2,01	51,14	68,1	69,56	16,01	15,4	51,11	58,2	27,2
0	40 - 60	3,93 b	0,04 b	0,46 b	0,13	4,60	10,57	0,40	3,93 b	3,50
10	40 - 60	4,00 b	0,05 b	0,86 b	0,13	4,50	28,70	0,50	6,01 b	7,50
20	40 - 60	4,00 b	0,07 b	0,70 b	0,13	4,47	10,87	0,53	5,65 b	5,67
40	40 - 60	4,06 a	0,08 b	1,00 b	0,13	4,47	10,57	0,77	5,77 b	8,50
80	40 - 60	4,10 a	0,19 a	1,86 a	0,27	4,20	12,70	0,80	14,58 a	7,17
P	-	0,02	0,00	0,03	ns	ns	ns	ns	0,04	ns
CV (%)	-	1,15	41,44	43,35	44,92	12,25	95,52	44,93	48,93	42

Médias seguidas por mesma letras nas colunas e em cada camada não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

CV = coeficiente de variação.

Tabela 6. Resultados analíticos de amostras de solo coletadas no experimento de doses de cinzas de madeira conduzido em campo, no distrito Campina da Alegria, Vargem Bonita, SC. Experimento instalado em 2006 em área com *Pinus taeda* com 2 anos de idade. Resultados de 2013.

Dose (Mg ha ⁻¹)	Canada (cm)	pH CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----											Ca/Mg
			K	Ca	Mg	Al	CO	P	V					
0	0 a 10	4,40	0,08	3,73	0,60	2,08	21,20	1,35	39,27	7,39				
10	0 a 10	4,40	0,12	5,28	0,58	2,03	28,85	1,90	40,04	7,22				
20	0 a 10	4,13	0,35	3,38	0,38	2,43	21,75	1,68	28,90	7,90				
40	0 a 10	4,45	0,14	6,70	0,75	1,83	25,85	2,75	43,11	7,52				
80	0 a 10	4,75	0,16	6,50	0,63	1,50	26,33	2,40	47,32	9,66				
P	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
CV (%)	-	8,23	115,16	47,71	33,72	57,79	20,8	61,25	43,44	45,54				
0	10 a 20	3,95	0,05	1,60	0,30	2,90	17,00	0,85	14,30	5,42				
10	10 a 20	3,98	0,12	2,45	0,58	3,38	23,00	1,90	16,86	5,71				
20	10 a 20	4,08	0,14	3,03	0,45	2,98	21,95	1,25	23,24	6,13				
40	10 a 20	4,00	0,11	2,35	0,45	3,03	19,20	1,08	19,47	4,57				
80	10 a 20	3,95	0,14	2,08	0,43	3,23	20,23	1,98	16,49	4,71				
P	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
CV (%)	-	4,12	46,13	45,34	40,55	20,85	14,1	63,23	41,2	36,34				
0	20 a 40	3,88	0,07	0,58	0,20	3,83	17,25	0,80	5,41	2,67				
10	20 a 40	4,30	0,09	0,57	0,43	3,08	20,25	0,95	13,77	1,81				
20	20 a 40	3,90	0,12	1,20	0,20	4,50	17,60	0,73	8,75	5,38				
40	20 a 40	3,88	0,09	0,75	0,20	3,80	18,23	0,68	7,27	3,42				
80	20 a 40	3,83	0,13	0,88	0,23	4,23	18,48	1,43	7,29	3,92				
P	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
CV (%)	-	10,47	40,66	63,36	87,41	19,87	22,02	53,75	101,94	42,25				

¹Ausência de letras nas colunas indica igualdade entre as médias pelo teste de F a 5%. CV = coeficiente de variação.

Considerações sobre as características químicas relacionadas à fertilidade do solo (2007 a 2013)

Os efeitos das doses de cinzas foram significativos em todas as características avaliadas no solo, com importante efeito nos teores de nutrientes disponíveis para as plantas, principalmente nos primeiros anos (Tabelas 2 a 6).

Embora não quantificado, na avaliação realizada em 2012, observou-se a presença de resíduos do material aplicado nas parcelas onde foram aplicadas as maiores doses, o que pode explicar a continuidade do efeito da sua aplicação em algumas das características químicas avaliadas.

Conforme pode ser observado nas Tabelas 3, 4 e 5, a ação sobre o pH das doses de cinzas teve continuidade em 2012, principalmente na maior dose e na camada de 0 a 10 cm, indicando efeito residual por seis anos. Na camada 10 a 20 cm, o efeito foi menor e também restrito à maior dose (80 Mg ha⁻¹).

Com relação ao cálcio, o comportamento foi semelhante ao observado com o pH (Tabelas 3, 4 e 5). Os efeitos foram mais pronunciados na camada superficial, com aumento nos teores de Ca no decorrer dos anos, resultante da presença de Ca no material, principalmente nas maiores doses de cinzas. Foi observado efeito significativo das doses nas camadas mais profundas, indicando a lixiviação desse elemento no perfil do solo. Com relação ao Mg, uma resposta atípica foi observada em 2007. Apesar disso, foi observado efeito importante na liberação desse elemento nas maiores doses de cinzas, principalmente das camadas superiores do solo (Tabelas 3, 4 e 5). Apesar de não significativo estatisticamente, os teores de Mg observados nas maiores doses e nas camadas mais profundas podem indicar lixiviação desse elemento.

Confirmando a importância das cinzas como fonte de K, foi observado efeito significativo da aplicação de doses do resíduo nos teores deste macronutriente nas amostras de solo. Os efeitos foram mais pronunciados nas maiores doses e nas camadas superiores, embora, como resultado da lixiviação desse elemento no perfil do solo, também tenha se verificado efeito significativo nas camadas mais profundas do solo. Na avaliação realizada em 2008, o efeito das doses de cinzas ficou restrito às camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm. Em 2011 e 2012, os efeitos foram significativos nas camadas mais profundas, como resultado da lixiviação do elemento (Tabelas 3, 4 e 5).

Quanto ao teor de P, não foi observado efeito significativo em 2008, 2011 ou 2012, como resultado da aplicação das doses de cinzas, possivelmente devido à sua absorção pelas plantas ou por microorganismos do solo. Na avaliação realizada em 2007, embora se refira somente à camada 0 a 20 cm, o efeito das doses foi expressivo, indicando que o resíduo pode contribuir para a melhoria da fertilidade do solo no que se refere à disponibilidade de P (Tabelas 3, 4 e 5).

Conforme pode ser observado na Tabela 1, quantidades expressivas de nutrientes foram incorporadas com as diferentes doses de cinza aplicadas, o que explica os efeitos observados principalmente nos teores de, K, Ca e P, indicando que a cinza estudada pode contribuir como fonte de nutrientes para as plantas.

A lixiviação de Ca, Mg e K indica a necessidade de se estabelecer formas de manejo que minimizem a perda desses nutrientes.

Teores foliares de nutrientes

Conforme pode ser observado na Tabela 7, houve redução no teor de S no tecido foliar, a partir da aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de cinzas no solo. Por outro lado, os teores de B foram aumentados a partir da dose 10 Mg ha⁻¹. Quanto ao Zn, observou-se uma redução seguida de uma elevação no teor do elemento com o aumento da dose de cinzas aplicada. Apesar do efeito observado na absorção de S, B e Zn, não houve correlação com a resposta no crescimento das árvores nos tratamentos aplicados, o que pode indicar que os teores foliares dos nutrientes, na ausência das cinzas, seriam adequados para o desenvolvimento das árvores de pinus na idade avaliada.

Tabela 7. Teores foliares de nutrientes em árvores de *Pinus taeda* submetidas a diferentes doses de cinzas de madeira. Amostras de acículas recém-maduras coletadas em novembro de 2008 em ramos do verticilo inferior do terço superior da copa.

Doses (Mg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Zn	Mn
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----					
0	15,01	1,22	8,00	1,65	1,23	0,79 a	5,86 b	7,38	77,04	35,75 ab	291,34
10	14,55	1,29	8,48	1,92	1,22	0,76 ab	6,74 ab	6,35	79,16	31,52 b	279,62
20	14,99	1,22	9,09	1,90	1,28	0,69 abc	7,83 ab	5,70	85,24	33,98 b	273,31
40	14,82	1,34	8,91	2,11	1,33	0,59 bc	8,53 a	6,15	70,69	33,08 b	249,77
80	14,15	1,34	10,16	1,95	1,41	0,62 c	8,31 a	6,65	85,54	41,50 a	287,67
P	ns	ns	ns	ns	0,07	0,00	0,01	ns	ns	0,00	ns
CV (%)	5,64	10,16	37,79	12,59	7,18	10,31	13,29	13,69	12,92	9,17	13,21

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. CV = coeficiente de variação.

Características biométricas

Na Figura 1 são apresentados os dados relativos às avaliações realizadas em 2006, 2007, 2008, 2011 e 2013 quanto à altura e dap das árvores. As doses de cinzas aplicadas no solo não apresentaram efeitos significativos sobre as variáveis biométricas avaliadas.

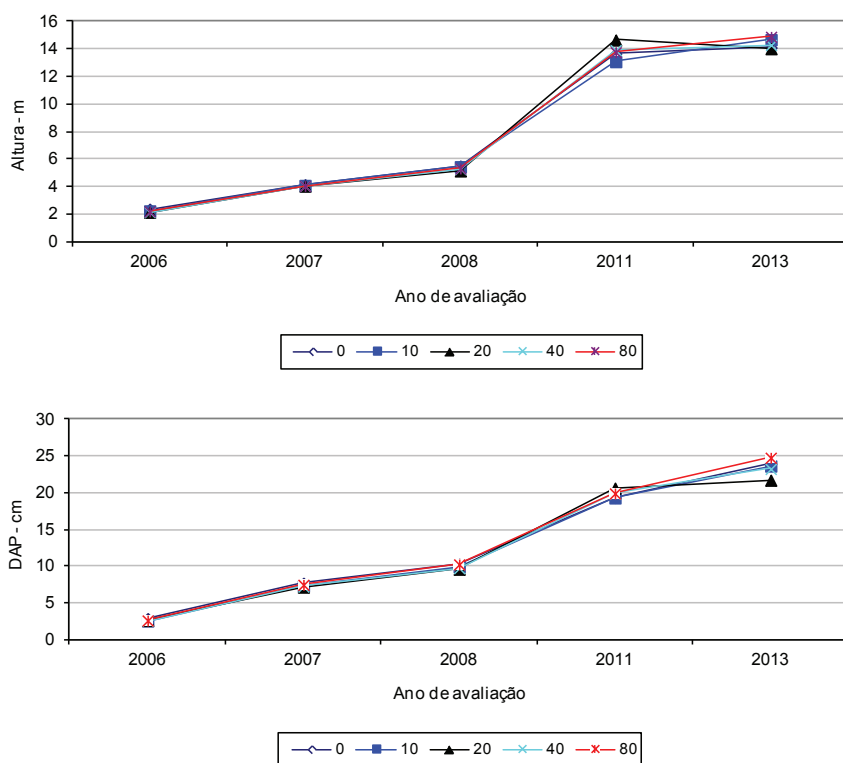


Figura 1. Altura e diâmetro a 1,30 m do solo (dap) de árvores de *Pinus taeda* avaliadas em 2006, 2007, 2008, 2011 e 2013, submetidas a doses de cinzas de biomassa de madeira gerada em caldeira.

Considerações quanto ao efeito da aplicação de doses de cinzas em características biométricas das árvores de *Pinus taeda* realizadas no período de 2007 a 2013.

Conforme relatado, não se observou efeito da aplicação de doses de cinzas no crescimento das árvores de pinus, nas avaliações realizadas no período de 2006 a 2013, apesar dos efeitos positivos da aplicação do resíduo na fertilidade do solo. A falta de resposta, observada em todas as avaliações realizadas, pode estar indicando que as condições de fertilidade do solo da área estudada são adequadas para o crescimento das árvores até o momento, conforme mencionado por Ferreira et al. (2014). No tratamento controle, sem aplicação de resíduo, o incremento médio anual estimado, aos 9 anos de idade (plantio em 2004), é de $40,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (considerando um fator de fórmula 0,4).

Essa produtividade reforça a hipótese de que o solo do local de estudo apresenta fertilidade adequada para o desenvolvimento econômico da espécie estudada, indicando que a cinza de madeira é útil apenas para a reposição de nutrientes exportados com a colheita florestal nas condições do estudo em andamento.

2.2. Efeito da aplicação de cinzas de madeira e lama de cal em eucalipto

Objetivo: avaliar o efeito de cinzas de madeira e lama de cal sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus dunnii* e sobre as características químicas do solo, em condições de campo.

Metodologia: um ensaio foi instalado em área de plantio comercial de *E. dunnii* em Vargem Bonita, SC em outubro de 2010. O solo do talhão é um Nitossolo háplico distrófico textura argilosa.

Os tratamentos (Tabela 8) foram constituídos da combinação de doses de cinzas de biomassa florestal (ci), lama de cal (lc) e calcário, calculados para elevar o pH em água a 5,5, com base no pH SMP (TOMÉ JUNIOR, 1997), que indicou a aplicação de 12,5 Mg ha⁻¹ de calcário, corrigidos conforme o poder relativo de neutralização total de cada material aplicado. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso e 6 repetições.

As parcelas são constituídas de 4 fileiras com 5 árvores espaçadas em 2,5 m x 2,0 m. As doses de cada resíduo (base seca) foram aplicadas a lanço, uniformemente nas parcelas, e incorporadas com o “ripper”, que realiza a subsolagem concomitantemente com a incorporação do material aplicado com discos laterais a uma profundidade aproximada de 20 cm e uma largura de trabalho de 1 m. As mudas utilizadas foram obtidas por reprodução assexuada. Foram realizadas avaliações da altura e diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) em 2011, 2012 e 2013. Amostras de solo foram coletadas em 2011 e 2013 nas camadas 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm.

Dados relativos à composição química das cinzas encontram-se relatados na Tabela 1. A lama de cal é um material alcalino (PRNT = 94%), composta principalmente por CaO (52%), em menor concentração por MgO (< 1,2%) e com presença de Na (1,8%).

Tabela 8. Altura e diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) de árvores de *Eucalyptus dunnii* submetidas à aplicação de lama de cal (lc), e cinzas de madeira (ci) e calcário dolomítico (cal) em proporções estimadas para atingir o pH 5,5 em água pelo pH SMP, com dose estimada em 12,5 Mg ha⁻¹. Avaliações realizadas em 2011, 2012 e 2013.

Trat.	Res/prod			ano					
	lc	ci	cal	2011			2012		
				altura (m)	DAP (cm)	altura (m)	DAP (cm)	altura (m)	DAP (cm)
1	0	0	0	2,79	c	5,42	b	8,75	8,46
2	100	0	0	2,85abc	1,68 b	5,57 b	5,16 b	9,35	8,57
3	75	25	0	3,15ab	1,73 a	5,71 b	5,05 b	9,80	9,06
4	50	50	0	3,17a	2,15 a	5,65 b	5,30 b	9,81	9,05
5	25	75	0	3,14abc	2,20 a	6,62 a	5,39 a	9,26	9,18
6	0	100	0	3,12abc	2,26 a	6,49 a	5,45 a	9,83	9,07
7	0	0	100	2,80 bc	1,70 b	5,54 b	5,49 b	9,54	9,14
CV (%)	-	-	-	6,56	9,62	7,5	11,13	7,15	14,65

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

3. Resultados

Características biométricas

Conforme pode ser observado na Tabela 8, na avaliação realizada em abril de 2011, a aplicação de cinzas de madeira isoladamente (tratamento 6) e combinada com lama de cal (tratamentos 3, 4 e 5) proporcionaram os maiores valores em altura e DAP. Em 2011, períodos de frio intenso com ocorrências de geadas severas danificaram as plantas, sendo realizada a poda das árvores a 0,70 m de altura em outubro/2011, para uniformização da altura das árvores e continuidade das avaliações.

Em 2012, considerando a altura e DAP das brotações mais altas e as mesmas variáveis no caso de apenas uma brotação, os tratamentos 5 e 6 foram os que apresentaram os melhores resultados. Em 2013, não se observou efeito significativo dos tratamentos aplicados sobre essas variáveis.

Características químicas do solo aos 6, 18 e 35 meses após aplicação dos tratamentos.

Os resultados analíticos de características químicas de três camadas do solo em amostras coletadas em 2011, 2012 e 2013 encontram-se nas Tabelas 9, 10 e 11.

Considerando que o pH determinado em CaCl_2 é cerca de 0,5 menor do que o determinado em água, os valores obtidos na camada 0 a 10 cm, para essa variável se aproximaram do valor base utilizado para estimar a dose de calcário a ser aplicada (pH 5,5 em água) nos tratamentos com aplicação de resíduos.

Pode-se observar (Tabelas 9 e 10) o aumento do valor do pH na camada 0 a 10 cm nas duas avaliações realizadas. Os valores do pH mais elevados foram observados nos tratamentos com maior presença de lama de cal, provavelmente pela maior solubilidade do resíduo em relação à cinza e ao calcário.

Tabela 9. Características químicas do solo da Fazenda Marrecas submetido a doses de lama de cal (Lc), cinzas de biomassa vegetal (Ci) e calcário dolomítico (CaI) cultivado com *E. dunnii*, avaliadas 6 meses após a aplicação dos tratamentos. Amostras coletadas em abril/2011.

Trat.	Lc	Ci	Cal	pH	CaCl ₂	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Al	C.O.	P	Fe	Mn	Cu	Zn	V	m	K%	
		%						cmol _c dm ⁻³			g kg ⁻¹	kg kg ⁻¹		mg dm ⁻³				%		
											0 a 10 cm									
1	0	0	0	3,95	0,12 d	1,08 b	0,20 b	5,42 cd	2,76 a	30,43	2,83 b	47,57 bc	106,15	6,78	1,63	1,63	8,03 b	14,17 a	3,05 cd	
2	100	0	0	5,39	0,18 cd	7,15 a	0,32 b	22,32 a	0,25 b	30,79	3,69 b	35,75 bc	124,58	5,00	1,80	1,80	50,76 a	1,48 b	2,29 d	
3	75	25	0	5,13	0,26 bcd	6,34 a	0,35 b	17,48 ab	0,58 b	31,72	16,28 b	44,27 bc	149,60	5,70	2,43	2,43	45,55 ab	3,22 b	3,41 cd	
4	50	50	0	5,25	0,49 bc	7,17 a	0,50 b	14,43 abc	0,18 b	30,03	19,92 b	51,42 bc	142,45	7,78	8,68	8,68	49,00 a	1,09 b	5,74 d	
5	25	75	0	4,84	0,60 b	4,99 ab	0,58 b	8,48 bcd	0,37 b	30,88	25,35 b	52,80 b	147,68	5,65	2,70	38,12 ab	2,22 b	8,99 b		
6	0	100	0	4,79	1,16 a	6,07 a	0,80 b	8,14 bcd	0,45 b	29,46	66,91 a	73,42 a	163,90	4,53	3,70	46,52 a	2,05 b	13,65 a		
7	0	0	100	4,86	0,19 cd	4,81 ab	3,14 a	1,49 d	0,68 b	28,56	2,08 b	32,72 c	108,63	5,18	1,58	46,93 a	3,27 b	2,08 d		
CV (%)				13,99	33,64	32,69	43,49	36,59	84,92	8,6	59,06	17,75	25,37	33,58	151,24	39,95	66,65	21,56		
											10 a 20 cm									
1	0	0	0	3,90	0,09 b	0,43 c	0,10 e	4,25 c	3,07	27,89	1,69	43,73	69,85	8,15	1,60	1,60	4,29	17,92 a	2,60	
2	100	0	0	4,16	0,13 ab	2,33 a	0,10 e	23,25 a	1,98	26,23	2,10	52,53	72,60	7,58	2,00	14,04	11,56 ab	3,10		
3	75	25	0	4,07	0,10 ab	2,31 a	0,38 d	6,15 b	2,08	26,87	1,82	46,48	72,88	8,15	1,58	8,70	11,62 ab	2,59		
4	50	50	0	4,20	0,18 ab	1,91 ab	0,45 c	4,23 c	1,65	24,34	2,61	42,35	70,95	8,40	3,90	17,71	10,07 ab	4,62		
5	25	75	0	4,24	0,21 ab	1,88 ab	0,54 b	3,48 c	1,72	26,70	4,36	42,08	67,38	8,10	1,50	17,81	9,87 b	4,57		
6	0	100	0	4,06	0,21 a	1,61 b	0,52 b	3,10 c	2,38	26,98	3,82	47,03	62,98	6,73	1,45	10,19	13,04 ab	4,56		
7	0	0	100	4,12	0,12 ab	1,70 b	1,10 a	1,54 d	1,78	24,42	1,56	39,05	62,43	7,55	1,23	11,78	10,56 ab	2,53		
CV (%)				3,95	32,42	18,88	5,77	8,37	13,26	13,26	63,66	19,81	20,52	11,02	86,58	59,65	27,98	45,37		
											20 a 40 cm									
1	0	0	0	3,98	0,07 c	0,30	0,03 c	9,90 b	2,64 a	21,44	0,92	39,33	48,68	8,78	1,23	2,53 a	16,79 a	2,32 e		
2	100	0	0	4,04	0,08 c	0,62	0,03 c	20,56 a	2,35 ab	19,30	0,58	39,88	41,80	8,33	1,50	4,59 ab	14,73 ab	2,67 e		
3	75	25	0	4,03	0,08 c	0,61	0,03 c	20,42 a	2,24 ab	20,12	1,14	33,55	37,13	8,63	1,50	4,63 ab	14,15 ab	2,78 de		
4	50	50	0	4,09	0,27 a	0,59	0,03 bc	19,68 a	2,24 ab	19,77	1,08	37,95	45,10	9,75	2,98	5,81 ab	13,18 ab	9,42 b		
5	25	75	0	4,10	0,29 a	0,66	0,10 bc	6,63 bc	2,07 b	19,03	2,16	36,58	40,15	8,38	1,35	6,96 ab	11,19 b	10,82 a		
6	0	100	0	4,03	0,18 b	0,59	0,26 ab	2,24 c	2,25 ab	20,97	1,85	39,88	35,20	7,50	1,65	6,25 ab	13,66 ab	5,42 c		
7	0	0	100	4,12	0,15 b	0,92	0,44 a	2,01 c	1,80 b	21,57	0,90	33,55	34,93	8,23	1,10	9,38 a	11,31 b	4,89 bc		
CV (%)				1,83	9,65	44,89	72,2	25,48	16,34	8,11	79,84	10,3	20,24	12,44	31,27	39,47	14,54	17,91		

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Características químicas do solo da Fazenda Marrecas, submetido a doses de lama de cal (Lc), cinzas de biomassa vegetal (Ci) e calcário dolomítico (Calc) cultivado com *E. dunnii*, avaliadas 18 meses após a aplicação dos tratamentos. Amostras coletadas em abril/2012.

Trat.	Lc		Ci	Calc	pH	K	Ca	Mg	Al	CO	P	V	m	Ca/Mg
	----- % -----													
0 a 10 cm														
1	0	0	0	0	4,15	0,17 b	2,47	0,27 b	2,97	21,25	3,32	18,34	60,08 a	6,45 ab
2	100	0	0	0	4,87	0,26 b	9,22	0,42 b	0,72	22,32	3,95	62,48	10,48 ab	20,58 a
3	75	25	0	0	5,15	0,26 b	9,67	0,55 b	0,92	23,52	8,17	54,52	14,19 ab	16,80 ab
4	50	50	0	0	4,75	0,32 ab	7,42	0,82 b	0,92	24,60	16,10	47,44	14,87 ab	8,40 ab
5	75	25	0	0	4,70	0,53 ab	6,27	0,80 b	0,70	22,25	17,55	46,25	9,96 b	7,80 ab
6	0	10	0	0	4,67	0,74 a	5,42	1,02 b	1,27	22,47	36,27	41,48	19,20 ab	5,00 b
7	0	0	100	0	4,75	0,17 b	4,85	3,60 a	0,35	21,20	3,82	53,85	3,81 b	1,34 b
CV (%)					15,30	55,80	75,40	33,40	102,80	16,09	143,98	51,15	108,01	63,24
10 a 20 cm														
1	0	0	0	0	4,02	0,14	0,82	0,15 b	3,4	18,57	1,97	7,18	76,41	5,25 ab
2	100	0	0	0	4,47	0,17	5,45	0,25 b	1,85	18,95	2,80	32,47	33,11	20,29 a
3	75	25	0	0	4,25	0,13	3,00	0,32 b	2,28	20,70	2,95	21,25	43,84	8,60 ab
4	50	50	0	0	4,12	0,25	1,93	0,35 b	2,75	15,80	3,95	16,52	53,38	5,91 ab
5	75	25	0	0	4,22	0,21	2,40	0,37 b	2,25	17,43	4,30	19,02	45,91	6,39 ab
6	0	10	0	0	4,15	0,24	1,80	0,50 b	2,53	19,20	2,13	16,68	52,26	3,76 b
7	0	0	100	0	4,32	0,10	2,23	1,72 a	1,95	17,50	2,78	24,90	36,32	1,36 b
CV (%)					8,04	60,95	104,30	103,90	40,26	18,06	55,52	76,80	46,25	94,18

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Tabela 10. Continuação.

Trat.	Lc		Ci		Calc	pH	K		Ca	Mg	Al	CO	P	V	m		Ca/Mg
	-----		-----				-----								-----		
20 a 40 cm																	
1	0	0	0	0	0	4,00	0,10 bc	0,46	0,13 b	3,10	15,60	1,40 b	4,90	81,79 a	3,66 b		
2	100	0	0	0	0	4,32	0,12 abc	3,80	0,20 b	2,07	17,50	1,85 ab	24,98	41,82 b	20,08 a		
3	75	25	0	0	0	4,17	0,08 c	1,80	0,17 b	2,60	17,22	2,10 ab	13,36	56,62 ab	10,00 ab		
4	50	50	0	0	0	4,12	0,10 bc	1,25	0,22 b	2,80	14,32	2,32 ab	11,10	64,22 ab	5,87 ab		
5	75	25	0	0	0	4,23	0,20 ab	2,56	0,37 b	2,26	17,23	5,00 a	20,50	42,00 b	7,00 ab		
6	0	10	0	0	0	4,10	0,23 a	1,32	0,40 b	2,85	17,70	3,50 ab	12,86	60,80 ab	3,14 b		
7	0	0	100	0	0	4,22	0,08 c	1,55	1,07 a	2,30	15,10	2,32 ab	19,42	46,72 ab	1,48 b		
CV (%)						4,72	35,53	90,45	60,17	30,72	17,18	56,59	67,00	32,40	99,45		

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Tabela 11. Características químicas do solo da Fazenda Marrecas, submetido a doses de lama de cal (Lc), cinzas de madeira (Ci) e calcário dolomítico (Calc) cultivado com *E. dunnilii*, avaliadas 35 meses após a aplicação dos tratamentos. Amostras coletadas em agosto/2013.

Trat.	Lc		Ci	Calc		pH	K	Ca		Mg	Al	CO	P	V		Ca/Mg
	-----			CaCl ₂	-----				mg kg ⁻¹					-----		
0 a 10 cm																
1	0	0	0	3,65 b	0,09 b	0,22 b	0,12 b	3,85	46,35	3,10	2,59 b	89,39 a	1,50 c			
2	100	0	0	4,40 a	0,09 b	5,86 a	0,24 b	0,98	40,93	2,03	35,47 a	16,86 c	25,47 a			
3	75	25	0	4,20 a	0,15 b	5,67 a	0,38 b	1,20	33,55	5,30	35,24 a	20,79 c	15,12 b			
4	50	50	0	4,20 a	0,28 a	4,20 a	0,55 b	1,08	33,85	10,83	31,04 a	17,53 c	7,60 c			
5	25	75	0	3,90 b	0,22 a	2,33 b	0,41 b	2,15	41,05	5,38	16,69 b	42,73 c	8,23 c			
6	0	100	0	3,82 b	0,20 a	1,48 b	0,45 b	2,60	37,88	6,58	12,94 b	55,17 b	3,35 c			
7	0	0	100	4,25 a	0,08 b	2,68 b	1,78 a	1,23	33,45	2,23	29,71 a	30,25 c	2,22 c			
P				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ns	ns	0,00	0,00	0,00			
CV (%)				6,24	35,23	61,16	83,10	44,65	16,03	90,72	53,97	53,14	52,88			
10 a 20 cm																
1	0	0	0	3,70 b	0,06 b	0,08 b	0,11 b	3,73	31,88	2,70	1,47 b	93,43 a	0,82 b			
2	100	0	0	3,85 b	0,09 b	1,81 a	0,13 b	2,88	33,48	1,03	11,79 b	58,91 c	13,26 a			
3	75	25	0	3,82 b	0,09 b	1,50 a	0,15 b	2,83	30,00	3,13	10,47 b	62,81 c	10,08 a			
4	50	50	0	3,97 a	0,20 a	2,44 a	0,38 b	2,15	31,55	6,98	18,84 a	46,63 b	5,76 b			
5	25	75	0	3,80 b	0,12 b	0,88 b	0,20 b	2,70	34,65	2,55	7,71 b	69,79 c	6,13 b			
6	0	100	0	3,77 b	0,13 b	0,53 b	0,22 b	3,45	27,30	1,63	5,33 b	79,77 a	2,62 b			
7	0	0	100	4,17 a	0,07 b	2,20 a	1,53 a	1,43	34,63	1,58	24,81 a	30,67 b	5,65 b			
P				0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	ns	ns	0,02	0,00	0,01			
CV (%)				3,91	39,89	73,12	118,90	23,98	20,25	160,26	70,25	23,86	67,76			

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.
CV = coeficiente de variação.

Tabela 11. Continuação.

Trat.	Lc		pH	K	Ca	Mg	Al	CO	P	V	m	Ca/Mg
	Ci											
	%		CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		%		
20 a 40 cm												
1	0	0	3,80	0,05	0,10 b	0,09	3,35	25,35 b	1,23	1,49 b	93,54 a	1,37 b
2	100	0	3,80	0,06	0,49 a	0,10	3,32	24,40 b	0,58	3,84 a	83,60 b	5,16 a
3	75	25	3,78	0,06	0,42 a	0,10	3,15	23,30 b	5,52	3,67 a	84,72 b	4,10 a
4	50	50	3,83	0,07	0,48 a	0,17	2,90	29,90 a	0,95	4,59 a	80,91 b	3,36 a
5	25	75	3,83	0,08	0,31 b	0,11	2,90	27,47 a	1,13	3,32 a	85,23 b	2,98 a
6	0	100	3,75	0,09	0,16 b	0,14	3,40	30,67 a	1,43	2,31 b	89,86 a	0,97 b
7	0	0	3,80	0,05	0,25 b	0,37	3,03	28,60 a	1,40	4,21 a	81,71 b	0,67 b
P			ns	ns	0,02	0,00	ns	0,05	ns	0,03	0,04	0,00
CV (%)			1,10	37,59	52,26	43,53	11,09	12,05	212,00	73,33	6,20	58,94

Médias seguidas por letras iguais nas colunas, em cada camada de solo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.
CV = coeficiente de variação.

Os valores do pH observados em 2013 podem estar indicando uma reacidificação do solo. Por serem tolerantes a acidez, as espécies de eucalipto conseguem se desenvolver adequadamente em solos ácidos. Porém, apresentam exigências quanto à disponibilidade de Ca e Mg.

Para os nutrientes analisados, os efeitos mais expressivos dos tratamentos aplicados foram observados na camada 0 a 10 cm, embora nas camadas 10 a 20 cm e 20 a 40 cm também tenha sido verificado efeito dos tratamentos, provavelmente como resultado da incorporação do material aplicado e da lixiviação, principalmente de K, Ca e Mg.

Os teores de K foram expressivamente aumentados, principalmente pelo aumento da participação de cinzas na composição dos tratamentos. Embora haja variação nas formas de recomendação de adubação para o eucalipto, o teor de K considerado adequado para a espécie varia em torno de $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (GONÇALVES et al., 1997), para uma camada de solo de 0 a 20 cm. Considerando esse valor, é possível supor que o teor crítico foi superado à medida que a presença de cinzas na composição dos tratamentos é aumentada, considerando um valor médio dos teores do nutriente nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm.

Da mesma forma, os teores de Ca foram significativamente aumentados com a aplicação da lama de cal, das cinzas e do calcário, principalmente nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, embora na avaliação realizada em 2012 (Tabela 10) não se tenha observado efeito significativo em função da variabilidade observada nos dados analíticos. À exceção do tratamento em que não se aplicou qualquer material (t1), em 2013, os teores de Ca nas camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm superaram o valor crítico de $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca para um incremento médio anual de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (BARROS et al., 2005). Demonstrou-se, assim,

a capacidade dos materiais utilizados, neste estudo, em liberar esse nutriente no solo. Os teores de Ca resultantes da aplicação dos materiais nos tratamentos 2 a 6 indicam que esses podem ser sucedâneos do calcário dolomítico (t7) no fornecimento do nutriente para as plantas.

Os teores de Mg foram significativamente alterados pela aplicação dos produtos, principalmente nas camadas inferiores do solo. Os maiores teores foram observados com a aplicação do calcário dolomítico, em função do maior teor do nutriente presente no produto ($> 12\%$ de Mg), seguidos pelos tratamentos com maior participação de cinzas na composição dos tratamentos. Considerando um valor médio dos teores de Mg determinados nas camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm, observou-se que a aplicação combinada de lama de cal e cinzas, nas maiores participações desse material na composição dos tratamentos, atingiram ou superaram o nível crítico de Mg para um incremento médio anual de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ mencionado por Barros et al. (2005). Como mencionado em relação ao Ca, com base nos teores de Mg resultantes da aplicação combinada de lama de cal e cinzas, principalmente nos tratamentos com maior presença de cinzas, é possível supor que essa forma de aplicação possa substituir a aplicação de calcário dolomítico como fonte de Mg.

Com relação à razão Ca/Mg, pode-se observar, nas três camadas avaliadas, que a aplicação isolada de lama de cal resultou nos maiores valores para a razão entre os dois nutrientes. À medida que aumenta a participação de cinzas na combinação entre os dois resíduos, diminui a razão Ca/Mg para valores mais próximos daqueles considerados adequados para a maioria das culturas (Ca/Mg = 4,0). As aplicações de lama de cal de forma isolada (t2) e combinada com cinzas (t3), resultaram nos maiores valores da relação Ca/Mg. Valores altos dessa relação podem resultar em desequilíbrios nutricionais, interferindo na absorção do Mg pelas plantas (EPSTEIN 1975; MOREIRA et al., 1999).

Em razão do poder neutralizante dos materiais aplicados, houve redução do teor de Al trocável, principalmente na camada superficial, resultando na redução da sua saturação na capacidade de troca de cátions, a pH 7,0 do solo.

Em 2011, apesar das diferenças expressivas nos teores de P, principalmente com a presença de cinzas de madeira, o efeito na camada superficial foi significativo apenas para a aplicação de 100% de cinzas de madeira. Nas demais camadas não houve diferença entre os tratamentos. Em 2012 não houve efeito entre os tratamentos, nas camadas 0 a 10 e 10 a 20 cm, pelas razões anteriormente expostas. Na camada 20 a 40 cm, houve efeito significativo dos tratamentos, indicando que, possivelmente, ocorreu a “lixiviação” desse elemento. A redução nos teores de P observada em 2013, principalmente na camada 0 a 10 cm, pode ser devido à absorção do elemento pelo eucalipto e pelas plantas voluntárias presentes nas parcelas. Os expressivos teores de P observados em 2011 e 2012, principalmente na camada superficial nos tratamentos com cinzas, destacam o potencial da cinza avaliada como fonte do nutriente.

Os resíduos, sem dúvida, contribuem para a melhoria da fertilidade do solo. A combinação da lama de cal e de cinzas resultou em melhor equilíbrio da relação entre Ca e Mg, como resultado do fornecimento de Mg presente nas cinzas. A lixiviação de Ca, Mg e K pode resultar em perdas dos nutrientes, sugerindo a necessidade de se estudar formas de aplicação dos mesmos que minimize esse efeito, enfocando melhores épocas e formas de aplicação, como por exemplo a aplicação em sulcos. Deve-se considerar também a questão de estabelecimento de doses dos resíduos para outras classes de solo e também solos com menor poder tampão. Estudos para o estabelecimento da eficiência relativa de cinzas de madeira no fornecimento de nutrientes, casos do P, K, Ca e Mg, são importantes para disponibilizar subsídios para o estabelecimento das doses a serem aplicadas.

Referências

BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.
Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto.
In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 269-286.

CORSO, N. M. (Coord.). **Trabalhador em reflorestamento: cultivo de pinus**. Curitiba: SENAR, 2006. 68 p.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.;
DEDECEK, R. A.; ANDRADE, G. de C.; FERRARI, M. P.
Pesquisas sobre nutrição do pinus no sul do Brasil. Disponível em: <<http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=474>>. Acesso em 19 out. 2014.

GONÇALVES, J. L. de M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, Campinas, 1997. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G. de; EVANGELISTA, A. R. Influencia da relação cálcio: magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição química da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SILVA, F. C. da (Org.). **Manual e análises química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.



Florestas

